

(19) Japan Patent Office (JP)

(12) Laid Open Patent Publication (A)

(11) Patent Application Disclosure Number

**Tokkai Hei 9-180662**

(43) Laid Open: Heisei 9 (1997) July 11

(51) Int. Cl.*	Classification symbol	Office internal number	FI	Technology Display Section
H 01 J	37/04		H 01 J 37/05	
	27/16		27/16	
	37/08		37/08	
	37/317		37/317 Z	
Examination request: No			Number of Claims: 7	OL (Total 6 pages)

- (21) Patent application No.: Tokugann Hei 7-340297  
(22) Filing date: Heisei 7 (1995) December 27  
(71) Applicant: 000005108  
Hitachi, K.K.  
4-6 Kan-da, Suru-ga-dai, Chi-yo-da-ku, Tokyo  
(72) Inventor: Kokki Nobori-ki-guchi  
c/o Electric Power/Electric machine Development Group  
Hitachi, K.K.  
7-2-1 Oo-mika-machi, Hitachi-shi, Ibaragi-kenn  
Kawasaki-shi, Kanagawa-kenn  
(72) Inventor: Ken-suke Ame-miya  
c/o Electric Power/Electric machine Development Group  
Hitachi, K.K.  
7-2-1 Oo-mika-machi, Hitachi-shi, Ibaragi-kenn  
Kawasaki-shi, Kanagawa-kenn  
(72) Inventor: Jun-ya I-toh  
c/o Electric Power/Electric machine Development Group  
Hitachi, K.K.  
7-2-1 Oo-mika-machi, Hitachi-shi, Ibaragi-kenn  
Kawasaki-shi, Kanagawa-kenn  
(74) Agent: Patent Attorney, Katsu-o O-gawa

Continued on the last page

(54) Patent Title: Ion Beam Apparatus

(57) Summary

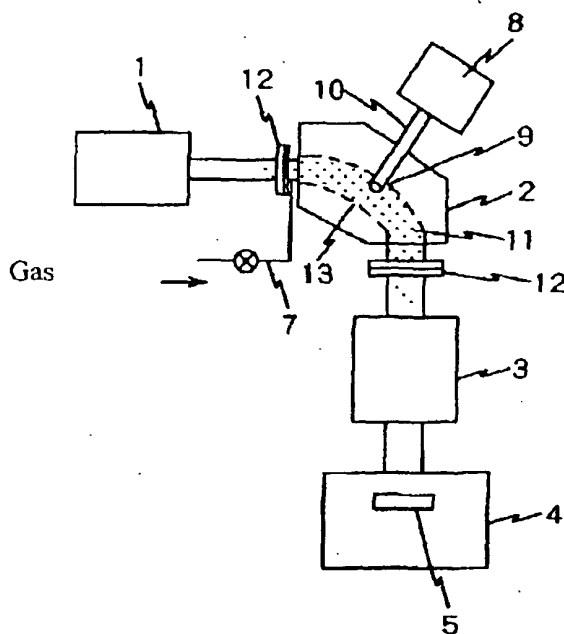
[Issue]

In a heavy ion beam apparatus of a level of a few tens to 100 mA which is used for ion implantation or acceleration, the space charge within the beam is neutralized so that beam spreading is prevented and a beam with a large current is transported and utilized with excellent efficiency.

[Resolution Means]

The magnetic field of the mass separator is utilized and electron cyclotron resonance plasma is generated with microwaves having a frequency of 5 GHz or higher. Electrons in the plasma neutralizes the space charge in the ion beam.

Figure 1



What is claimed is:

Claim 1 Ion beam apparatus including an ion source to generate an ion beam, a magnetic-field-type mass separator to select a certain kind of ion from the ion beam extracted out of said ion source, an ion beam implantation chamber in which the mass-separated ion beam is implanted into a sample substrate, and an accelerator to further accelerate the mass-separated ions, wherein microwaves and a small amount of discharge gas are introduced in an separator tube of said magnetic-field-type mass separator so that plasma is generated in said separator tube.

Claim 2 Ion beam apparatus of Claim 1, wherein the frequency of the microwave which is introduced into said separator tube of said magnetic-field-type mass separator is the electron cyclotron resonance frequency for the magnetic field strength applied to said magnetic-field-type mass separator or within the range of  $\pm 10\%$  around the resonance frequency.

Claim 3 Ion beam apparatus of Claim 1 or 2, wherein as an introduction method of microwave into said separator tube, a hole is made on a portion of an iron core of a mass separator magnet and a microwave waveguide is attached to this portion so that the microwave is introduced into the separator tube which is placed between magnetic poles of the mass separator magnet.

Claim 4 Ion beam apparatus of Claim 4, wherein the position of the opening section of the separator tube through which the microwave is introduced is provided in a position which avoids the area with a width equal to that of the magnetic poles around the geometric center orbit of said separator tube.

Claim 5 Ion beam apparatus of Claim 1 or 2, wherein as an introduction method of microwave into said separator tube, the microwave is directly introduced at the side of said separator tube between the magnetic poles.

Claim 6 Ion beam apparatus of Claim 1, wherein the microwave oscillator is an oscillator whose frequency can be varied in a range between 5 to 30 GHz, further wherein a frequency adjustment device is provided, and wherein when the magnetic field strength of the mass separator is changed in order to mass-separate another kind of ion from the beam which comes out of the ion source, the

frequency of the microwave oscillator is varied according to the signals from the frequency adjustment device so as to be able to satisfy the cyclotron resonance condition.

Claim 7 Ion beam apparatus of Claim 1, wherein the microwave oscillator is an oscillator with a fixed frequency, further wherein a beam orbit adjustment device is provided, and wherein when another kind of ion is mass-separated from the beam which comes out of the ion source, the magnetic field strength of the mass separator is fixed and the extraction voltage of the ion source is changed according to the signals whose values are set by the beam orbit adjustment device so that the ion beam passes along the center orbit of the separator tube.

[Detailed Explanation of Invention]

[0001]

[Technical Field to Which the Invention Belongs]

The present invention relates to an ion beam apparatus.

[0002]

[Prior Art Technology]

Using an ion implantation apparatus, prior art technology is explained in Figure 2. If an accelerator is provided instead of an implantation chamber in the figure, the present apparatus turns into an ion beam source apparatus for the accelerator. In Figure 2, an ion beam 6 is extracted from an ion source 1. Because the extracted ion beam 6 includes various types of ions, it is passed through a mass separator 2 which selects a desired ion 6'. The selected ion beam 6' is then implanted into a sample substrate 5 which is placed in the ion implantation chamber 4, after a rear stage accelerator accelerates the beam and a beam controller 3, including magnetic lenses, adjusts the shape of its cross section and the angle of beam spreading. Some ion implantation apparatuses may not have the controller 3. Moreover, the beam line of the ion beam apparatus of Figure 2 is under high vacuum.

[0003]

When a beam current in such an ion beam apparatus is increased to 10 mA or larger and enters a large current regime, an issue which arises from a large current occurs. The issue is that the effect of beam spreading, which is caused by ion space charges, becomes large and the transported beam current would not stop to increase further. In a large current, the repulsive Coulomb force between ions makes the beam spreading effect more pronounced and a portion of the beam from the an ion source will hit

walls and will be lost before reaching a target. In such a case, even if a large current can be extracted from an ion source, the beam transport efficiency degrades and thus, the current available for implantation would not increase. On the other hand, from the viewpoint of an ion beam source apparatus, the beam spreading of a large current due to the same space charge effect greatly degrades the beam quality (emittance). The issue was that even when a large beam enters the accelerator, the accelerated usable beam current does not increase.

[0004]

In order to resolve such an issue, prior art technology employed a magnetic type for a mass separator and beam controller 3. This is employed because secondary electrons, which are generated when ions collide against residual gas or chamber walls, are allowed to be more readily incorporated into the ion beam so as to cancel the space charge of the ion beam.

[0005]

However, such technology would not allow for sufficient cancellation of the space charge of a heavy ion beam with an ion beam current of a few tens of mA to 100 mA, and beam spreading would tend to occur. Thus, in order to transport a beam with a large beam current and excellent efficiency, it is necessary to improve the vacuum level so that the loss due to collisions with residual gas can be reduced, and for that purpose, the vacuum level in an apparatus must be greatly improved. Moreover, a beam with a larger beam current carries a larger beam power and the thermal load generated when it collides with walls would be larger. Then, burdens such as cooling would increase. Hence, techniques must be employed in order to transport an ion beam with eliminating the collision into as much as possible. In other words, the larger the beam current becomes, the harder it becomes to generate a sufficient amount of secondary electrons so as to cancel the space charge.

[0006]

[Issue to be Resolved by the Invention]

The purpose of the present invention is to provide an ion beam apparatus in which space charge in an ion beam with a current as large as a few tens of mA to 100 mA would not cause beam spreading and emittance degradation so that the large-current ion beam can be obtained with excellent quality. For this purpose, the issue is to cancel the space charge in an ion beam

[0007]

[Means to Solve the Issue]

In order to prevent the spreading effect due to the ion beam space charge from taking place when a beam current is increased while a high vacuum is maintained, it will be sufficient to have an electron source somewhere along the beam line which generates enough electrons to compensate for the increase in the beam current. For this, it will be sufficient to provide plasma containing many electrons along the beam line. However, in a normal plasma generation process, a discharge gas is flown and hence, the vacuum level degrades. Thus, the loss due to collisions of ions with gas particles increases. Therefore, this technique is not put to practical use. In general, a magnetic field is applied for plasma generation. If a magnetic field is added somewhere (such as between the ion source and mass separator or between the mass separator and implantation chamber) along the beam line illustrated in Figure 2 for the purpose of generating plasma, the force induced by this magnetic fields unnecessarily bends the original passage of the ion beam, causing the degradation of beam shape or emittance.

[0008]

If plasma can be generated in a mass separator tube through which the ion beam passes, making use of the magnetic field of the mass separator, instead of generating plasma somewhere along the beam line, beam degradation due to the addition of an unnecessary magnetic field would be prevented. Furthermore, utilizing microwave discharge with the frequency where the electron cyclotron resonance (abbreviated as ECR) occurs for the magnetic field strength in the mass separator, plasma can be generated at a very low gas pressure. Hence, ion beam loss due to collisions of the ion beam with discharge gas can be reduced.

[0009]

The present invention in which plasma is generated in the separator tube in the mass separator allows ECR plasma to be utilized as a high-vacuum electron source having sufficient electrons to neutralize the ion beam space charge in an ion beam apparatus having a beam with a current level of a few tens of mA to 100 mA. Moreover, the existence of the plasma or the lack thereof does not alter the magnetic field strength or the energy of ions. Hence, the original function of the mass separator can be maintained without change.

[0010]

[Embodiment of the Invention]

Below, the principle of the present invention is explained based on examples. Figure 1 shows one of the examples of the present invention. In the figure, an opening section 9 is provided in the mass separator, so that microwave out of a microwave oscillator 8 passes through a waveguide 10 and can be introduced to a mass separator tube 13. Using a gas introduction system 7, a small amount of discharge gas is introduced via one end of the separator tube. The frequency of the microwave is chosen to be 5 GHz or higher so that the dimensions of the waveguide can be made smaller. The conditions below determine the microwave frequency when plasma 11 is generated in the separator tube 13 under the cyclotron resonance conditions.

[0011]

First, when ions are extracted from the ion source by a voltage  $V$  and are mass-separated under a magnetic field strength of  $B$  in the mass separator, the mass-separated ions pass along the central orbit of the mass separator tube. Let the orbit radius be denoted by " $r$ ", the ion mass by " $M$ ", and the ionic charge by " $q$ ". Then, the necessary magnetic field strength  $B$  is given using the following equation.

[0012]

[Equation 1]

$$B = k ((M/q) V)^{1/2} / r, \quad \text{[Equation 1]}$$

[0013]

where " $k$ " is a constant. On the other hand, the microwave frequency  $f$ , which provides the electron cyclotron resonance condition corresponding to the magnetic field  $B$  in Equation 1, is given using the following equation.

[0014]

[Equation 2]

$$f = (1/2\pi) \cdot (e/m) \cdot B, \quad \text{[Equation 2]}$$

where " $e$ " and " $m$ " are the electrical charge and mass of an electron, respectively.

[0015]

In the real example of Figure 1, an oscillator with a fixed frequency was used as the microwave oscillator. From the microwave frequency, the magnetic field strength for the electron cyclotron resonance condition was obtained. Next, an extraction voltage for the ion source and the center orbit radius were calculated so that desired ions passed along the center orbit in the separator tube. In general, it is more beneficial to keep an extraction voltage for the ion source constant at a large value

irrespective of the kind of ions from the viewpoints of stable operation of the ion source and the extraction of a large current. It is part of basic and usually-used specifications for an ion beam apparatus to be able to select the kind of ions by varying the magnetic field strength of a mass separator while maintaining the voltage of an ion source constant. In the present example, the microwave frequency was fixed and hence, plasma was generated only for a particular ion. In order to apply the present invention to other ions, it is practical to change the microwave frequency based on Equation 2.

[0016]

In the example of Figure 1, a microwave ion source was used as the ion source and a nitrogen beam at levels of a few tens of mA to 100 mA was extracted under an ion source voltage of 50 kV. The microwave frequency introduced into the separator tube of the mass separator was set to 10 GHz. The electrical power was a few kW. The center orbital radius "r" and resonance magnetic field strength "B" were determined and the structure of the mass separator was designed so that the electron cyclotron resonance condition was satisfied at this frequency. Argon gas was used as the discharge gas in the separator tube. As a result, argon plasma was generated in separator tube 13 under the high vacuum of  $10^{-3}$  to  $10^{-4}$  Pa or lower. As for the ignition of the plasma, the plasma was able to be ignited even when the magnetic field strength of the mass separator magnet was varied by 10% from the design value by adjusting the gas pressure and so forth. As long as the magnetic field strength was returned to the design value, which maintains the beam at the center orbit and satisfies the electron cyclotron resonance condition, the plasma did not disappear but was continuously generated.

[0017]

In order to verify the effect to reduce the ion beam spreading effect when the plasma was ignited, a beam current or emittance measurement instrument substituted sample substrate 5 in implantation chamber 4 so that the beam current or emittance can be measured.

[0018]

The results show no change in the ion current in the implantation chamber when the ion beam current extracted from the ion source was 20 mA or lower, while the beam current which was larger than 20 mA increased after the plasma was ignited. In particular when the current exceeded 100 mA, the existence of the plasma greatly increased the beam current in the implantation chamber and improved the ratio of the beam current arriving to the implantation chamber over the beam current exiting the ion source (transportation ratio) from approximately 40% to 70% or better. Thus, an ion



beam current in the implantation chamber of more than 100 mA was able to be obtained with ease. The size of the beam spot in the implantation chamber was maintained at the same size as that when the current was small. Figure 9 shows the results to study the variation of the emittance depending on whether or not the plasma was generated in the mass separator tube of the present invention. In the figure, the horizontal axis shows the beam current as measured in the implantation chamber and the vertical axis shows the normalized emittance of the beam. As for the quality of a beam, a smaller emittance value indicates a beam with better quality. The figure teaches that the existence of the plasma suppressed the increase in emittance even when the beam current was increased. Moreover, while Figure 9 shows the results obtained with nitrogen ions, the same results were obtained for ions such as oxygen, hydrogen, boron, phosphor, arsenic and carbon.

[0019]

Next, Figure 3 shows the cross sections of the mass separator and separator tube in the example of Figure 1. The mass separator consists of a yoke 14 and coils 15. The radio wave from microwave oscillator 8 for generating the plasma passes through opening section 9 of the mass separator which is provided in order to introduce microwave and then passes through an opening section 9' of the separator tube. Thus, it is guided to the separator tube. Near opening section 9' somewhere along waveguide 10, a microwave vacuum pulling window 20 made of an insulator is provided. In particular, microwave vacuum pulling window 20 is placed slightly away from opening section 9' as illustrated in the figure so that the direct exposure to a beam 6 and plasma 11 would not contaminate the window.

[0020]

Figure 4 is a detailed top view of separator tube 13. The separator tube is for a 90° deflection. The radial center of the center orbit is point O' in the figure. In the present invention, special consideration was given to the placement of opening section 9'. This was done because in the section within a width "g" (the width of the magnet poles shown in Figure 3) across the center orbit as illustrated by the hatched area in the figure, an uniform magnetic field is necessary in order to maintain the ability to mass-separate, and opening section 9' is positioned to avoid this area. This consideration will eliminate the disturbance by the opening section to the uniform magnetic field.

[0021]

Next, Figure 5 explains another example which is based on the present invention. In the figure, microwave was introduced between the magnetic poles in a mass separator. A detailed cross section of

the mass separator of this example is shown in Figure 6. In this example, the orientation of the magnetic field between the magnetic poles of the mass separator was perpendicular to the direction of the microwave propagation. From the viewpoint to create easier ignition using microwave, the example of Figure 1 in which the orientation of the magnetic field coincides with the direction of the microwave propagation is better. In comparison to the example in Figure 1, the introduced microwave power slightly increased. However, plasma was ignited sufficiently even with the design of Figure 5. The improvement due to the present invention was observed as illustrated in Figure 9.

[0022]

Figure 6 explains yet another example which is based on the present invention. In the example of Figure 1, the embodiment was performed using an ion beam made of nitrogen atoms. When the operation conditions of the ion source are changed, an ion beam with a large current made of nitrogen molecules can be extracted with the same extraction voltage. In order to separate an ion beam made of nitrogen molecules using a mass separator, a magnetic field strength needs to be 1.414 times stronger than that for an ion beam made of nitrogen atoms. In this example, an oscillator (in reality a klystron oscillator) 8' which allowed the frequency to be varied in a range between 5 and 30 GHz was used as a microwave oscillator. Moreover, a frequency adjustment device 17 was provided so that the microwave frequency was varied according to Equation 2 as the magnetic field strength was varied. In the figure, 16 denotes a magnetic field driving power supply for the coils 15. Its output corresponded to the magnetic field strength and hence, part of the output control signals was introduced into the frequency adjustment device so that the microwave frequency was varied according to the signals. In this example, the extraction voltage of the ion source was 50 kV, which is the same value as that for extracting nitrogen atoms. Therefore, the switching of the ion source for nitrogen molecules was conducted with ease.

[0023]

Figure 8 shows the other example of the present invention. In the figure, a fixed frequency oscillator (10 GHz) was used as a microwave oscillator 8. As for the switching of ions in this example, contrarily to that in Figure 7, the magnetic field strength in the mass separator was kept constant and the electron cyclotron resonance condition was not changed. "V" in Equation 1 was varied so that other kinds of ions were mass-separated. In this case, the extraction voltage of the ion source changed and hence, an issue arose in that the beam current from the ion source changed. However, the effect in which plasma ignition improves the beam transportation ratio was similarly confirmed.

[0024]

Although argon gas was used for plasma generation by the electron cyclotron resonance (ECR) in the examples, it is obvious from the nature of the present invention that other gas can be used. Moreover, in the examples of Figures 1 through 8, an ion implantation chamber was used for ion implantation into a semiconductor. In these cases, it was observed that plasma irradiation bombarded the inner walls of the separator tube and generated impurities which were implanted into the semiconductor substrate surface as contaminants. In order to prevent this, silicon substrates were placed on the entire inner walls of separator tube 13. As a result, drastic contamination prevention in the implantation into silicon was achieved. It was found that when the present invention is applied to implantation into silicon semiconductors, placing silicon substrates on the inner walls of the separator tube is particularly effective. On the other hand, when an implantation chamber is utilized in an accelerator, the distance between a mass separator to a sample becomes much longer. Hence, in reality, the prevention method such as placing silicon substrates turned out to be unnecessary.

[0025]

[Advantages of the Invention]

The present invention prevents beam spreading and loss due to the space charge belonging to the ion beam itself in an ion beam apparatus which handles a heavy ion beam with a level of a few tens to 100 mA. When an ion beam with a large current is utilized, a portion of the ion beam which otherwise would be wasted can be utilized for ion implantation or acceleration. Thus, the practical effect becomes very large.

[Brief Explanation of Figures]

- [Figure 1] Explanation of the principle of an example of the present invention
- [Figure 2] Explanation of a prior art ion beam apparatus
- [Figure 3] A cross section of the mass separator and separator tube in the example of Figure 1
- [Figure 4] A detailed top view of the separator tube in the example of Figure 1
- [Figure 5] Explanation of another example which is based on the present invention
- [Figure 6] A cross section of the mass separator and separator tube in the example of Figure 5
- [Figure 7] Explanation of yet another example which is based on the present invention
- [Figure 8] Explanation of the other example which is based on the present invention

[Figure 9] Explanation of the results to measure the differences in the beam current dependency of the ion beam emittance with and without utilizing the present invention

[Explanation of Labels]

- |    |                         |    |                      |
|----|-------------------------|----|----------------------|
| 1  | Ion source              | 2  | Mass separator       |
| 3  | Beam controller         | 4  | Implantation chamber |
| 5  | Sample substrate        | 6  | Ion beam             |
| 7  | Gas introduction system | 8  | Microwave oscillator |
| 9  | Opening section 9       | 10 | Waveguide            |
| 11 | ECR plasma              | 12 | Flange               |
| 13 | Separator tube          |    |                      |

Figure 1

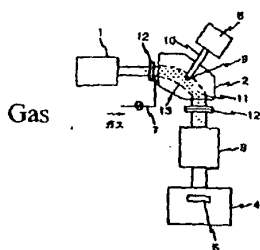


Figure 2

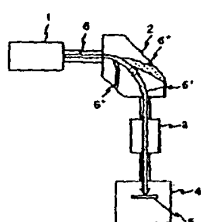


Figure 3

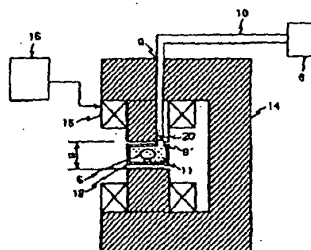


Figure 4

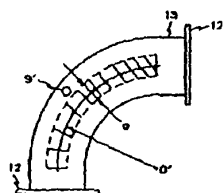


Figure 5

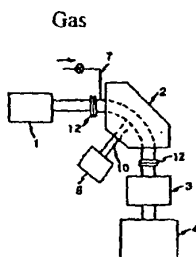


Figure 6

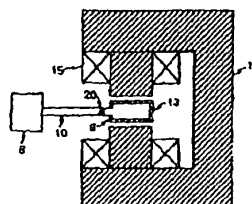


Figure 7

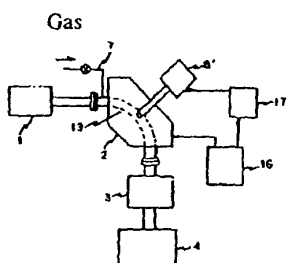


Figure 8

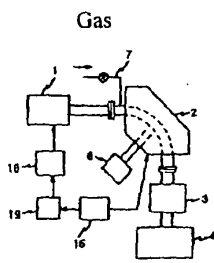
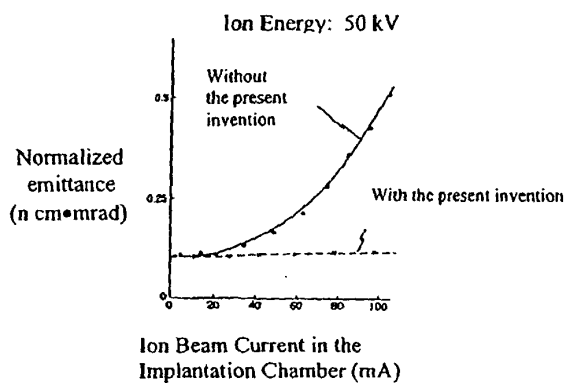


Figure 9



Continued from the cover page

(72) Inventor:

Taka-yoshi Seki  
c/o Electric Power/Electric machine Development Group  
Hitachi, K.K.  
7-2-1 Oo-mika-machi, Hitachi-shi, Ibaragi-kenn  
Kawasaki-shi, Kanagawa-ken

Translator's note

In the first sentence of [0022], the text refers to Figure 6. The authors must have meant Figure 7 instead.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-180662

(43) 公開日 平成9年(1997)7月11日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	片内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 J	37/05		H 0 1 J	37/05
	27/16			27/16
	37/08			37/08
	37/317			37/317
				Z

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平7-340297

(22) 出願日 平成7年(1995)12月27日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 登木口 克己

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所電力・電機開発本部内

(72) 発明者 雨宮 健介

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所電力・電機開発本部内

(72) 発明者 伊藤 純也

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所電力・電機開発本部内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

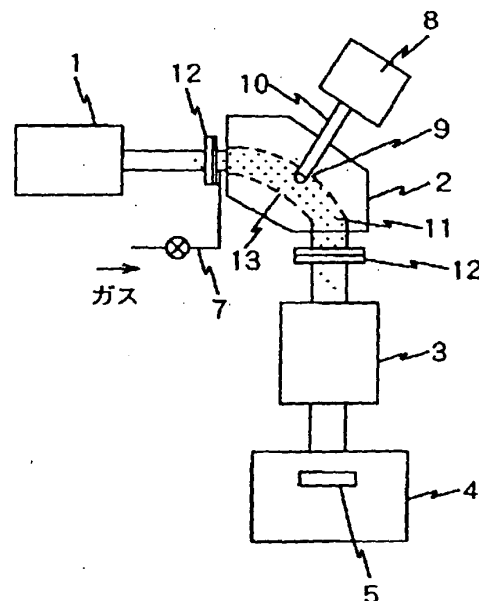
(54) 【発明の名称】 イオンビーム装置

(57) 【要約】

【課題】イオン注入や加速器に用いる数十〜百mA級の重イオンビーム装置で、ビームの空間電荷を中和してビームの発散を防ぎ、大電流ビームを効率良く輸送、利用できるようにする。

【解決手段】質量分離器の磁場を使い、5GHz以上の周波数のマイクロ波による電子サイクロトロン共鳴プラズマを作り、そのプラズマ電子によりイオンビームの空間電荷を中和する。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】イオンビームを発生するイオン源、前記イオン源から引出されたイオンビームの中から特定のイオン種を選別するための磁場型質量分離器、質量分離されたイオンビームを試料基板に打込むためのイオン打込み室や質量分離イオンを更に加速するための加速器を含むイオンビーム装置において、前記磁場型質量分離器の分析管内にマイクロ波電波と微量な放電ガスを導入し、前記分析管内でプラズマを生成させることを特徴とするイオンビーム装置。

【請求項2】請求項1において、前記磁場型質量分離器の前記分析管に導入するマイクロ波の周波数が、前記磁場型質量分離器に印加している磁場強度に対する電子サイクロトロン共鳴周波数もしくは共鳴周波数を中心として $\pm 10\%$ 以内の範囲にある周波数であるイオンビーム装置。

【請求項3】請求項1または2において、前記分析管へのマイクロ波電波の導入法として、質量分離磁石の鉄芯の一部を開口し、この部分からマイクロ波導波管を装着し、質量分離磁石の磁極間に置かれた分析管にマイクロ波電波を導入したイオンビーム装置。

【請求項4】請求項3において、マイクロ波を導入する分析管開口部の位置が、前記分析管の幾何学的中心軌道に対し磁極幅の寸法分の領域を避けた場所に開口部を設けたイオンビーム装置。

【請求項5】請求項1または2において、前記分析管のマイクロ波電波の導入方法として、磁極の間にある前記分析管の側面に直接マイクロ波を導入したイオンビーム装置。

【請求項6】請求項1において、マイクロ波発振器が $5 \sim 30 \text{ GHz}$ の範囲の中のいずれかの範囲で周波数可変できる発振器であり、更に周波数調整器を設けるとともにイオン源から出たビームについて別のイオン種を質量分離するため質量分離器の磁場強度を変更した時、サイクロトロン共鳴条件が維持できるように周波数調整器からの信号に応じてマイクロ波発振器の周波数を変えたイオンビーム装置。

【請求項7】請求項1において、マイクロ波発振器の周波数が一定の発振器であり、さらにビーム軌道調整器を設けるとともに、イオン源から出たビームについて別のイオン種を質量分離する時、質量分離器の磁場強度は固定し、ビーム軌道調整器からの指定された値の信号に応じてイオン源引出し電圧を変え、イオンビームが分析管の中心軌道を通るようにしたイオンビーム装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はイオンビーム装置に関する。

【0002】

【従来の技術】イオン打込み装置を例にとり、従来技術

を図2で説明する。図で打込み室の代わりに加速器を設ければ、本装置は加速器へのイオンビーム入射装置となる。図2で、イオン源1から引出されたイオンビーム6は種々のイオン種を含むため、この中から必要とするイオン種6'を選別するために質量分離器2を通す。選ばれたイオンビーム6'はその後、後段加速で加速されたり、磁場レンズ等を含むビーム制御器3によりビームの断面形状や発散角等が調整されて、打込み室4の中に置かれた試料基板5にイオン注入される。イオン打込み装置には制御器3が省略されたものも利用されている。なお、図2のイオンビーム装置ではビームラインが高真空中にひかれている。

【0003】この様なイオンビーム装置において、ビーム電流が $10 \text{ mA}$ を越す大電流領域になると、大電流に起因する問題が発生する。即ち、イオン空間電荷によるビーム発散効果が顕著になり、輸送後のビーム電流が増大しなくなる問題があった。大電流ではビーム内のイオン同士のクーロン反発作用によりビーム発散作用が著しくなり、イオン源から出たビームは途中で壁等に当たって失われるからである。この様になると、折角、大電流のビームをイオン源から引出せても、ビーム透過率が減少するため、利用できる打込み電流は増加できない。一方、加速器用のビーム入射装置としての観点からは、大電流になると同じ空間電荷作用のビーム発散でビームの質（エミッタンス）が著しく低下することになり、加速器に入射しても、加速利用されるビーム電流値が増えない問題があった。

【0004】この様な問題を解決するため、従来技術では質量分離器やビーム制御器3として磁場型のものを利用することが行われていた。これはビームが残留ガスや容器壁などと衝突して発生する2次電子がイオンビームの中に取り込まれやすくなり、イオンビーム自身の空間電荷を打消し易くなるからである。

【0005】しかし、この様な技術でも、イオンビーム電流が数十～百 $\text{mA}$ の重イオンビームでは十分に空間電荷を打ち消せず、ビーム発散が起きやすかった。これは、大電流ビームを効率良く輸送するには、真空度を良くして残留ガスとの衝突損失を減らすことが必要であり、このためには装置の真空度も一段と良くしなければならない。また、大電流になるとビーム電力も大きくなり壁等に当たると熱負荷が大きくなって冷却等の負担が増すので、なるべく容器壁に当たらないようにイオンビームを輸送する工夫が施される。即ち、大電流になると空間電荷を打ち消すに見合うだけの量の2次電子を発生させることが益々困難になる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は数十～百 $\text{mA}$ 級の大電流のイオンビームについて、空間電荷によるビーム発散やエミッタンス劣化を起こさず、良質で大電流のイオンビームが得られるイオンビーム装置を提



供することにある。このためには、イオンビームの空間電荷を打ち消すことが課題である。

【0007】

【課題を解決するための手段】高真空の状態のままビーム電流を増加した時に、イオンビーム空間電荷による発散作用を起こさせないためには、ビーム電流の増加に見合った十分な電子の供給源がビームラインの途中にあれば良い。このためには、電子を多く含むプラズマをビームライン中に設ければ良い。しかし、一般のプラズマ発生では放電ガスを流すため真空度の劣化が起こり、ガス粒子とイオンとの衝突による損失が大きくなって実用化されていなかった。プラズマ発生には一般に磁場が印加されるが、図2に示したビームラインの途中（イオン源と質量分離器の間や質量分離器と打込み室の間など）にプラズマ生成用の磁場を追加すると、もともとのイオンビームがこの磁場の力により不必要に軌道が曲げられ、ビーム形状やエミッタンスの劣化を起こしていた。

【0008】ビームラインの途中にプラズマを生成するのではなく、もし、質量分離器の磁場を使ってイオンビームが通る質量分析管の中でプラズマを生成できれば、不必要な磁場の追加によるビーム劣化は防止できる。さらに、プラズマ発生条件に、質量分離器の磁場強度に対し電子サイクロトロン共鳴（ECRと略す）を起こす周波数のマイクロ波放電を利用すれば、極めて低いガス圧力の下でプラズマを生成できるから、イオンビームと放電ガスとの衝突によるイオンビーム損失も少なくできる。

【0009】質量分離器の分析管にプラズマを発生させ\*

$$B = k((M/q)V)^{1/2} / r$$

【0013】ここで、kは定数である。一方、数1の磁場強度Bに対応する電子サイクロトロン共鳴条件を得るマイクロ波周波数fは次式で与えられる。

$$f = (1/2\pi) \cdot (e/m) \cdot B$$

ここで、e、mはそれぞれ電子の電荷と質量である。

【0015】図1の実施例では、実際にはマイクロ波の発振器に周波数固定のものを使った。マイクロ波周波数から電子サイクロトロン共鳴条件の磁場強度が決められ、次に所望のイオン種が分析管の中心軌道を通るようにイオン源引出し電圧や中心軌道半径を設計した。一般にイオン源引出し電圧はイオン種によらず高い値で一定に保つほうが、イオン源の安定運転や大電流引出しの上で有利である。イオン源電圧を一定に保ちながら、質量分離器の磁場強度を変え種々のイオン種を選択することは、イオンビーム装置の基本仕様であり、常套的に用いられている仕様である。本実施例ではマイクロ波の周波数は固定としたため特定のイオン種についてしかプラズマ発生が行えない。別のイオン種についても本発明を実施するには、マイクロ波の周波数を数2により変えてやることが実用的である。

\* 本発明によれば、数十mA～百mAレベルのビームを扱うイオンビーム装置について、イオンビーム空間電荷を中和するに十分な電子供給源に高真空下のECRプラズマが活用できるようになる。またプラズマの有無により磁場強度が変化したりイオンのエネルギーが変わったりすることはないので、本来の質量分離作用もそのまま維持できる。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明の原理を実施例に基づいて説明する。図1は本発明の1実施例である。図で、質量分離器には開口部9が設けられ、マイクロ波発振器8からのマイクロ波電波を導波管10を通し、質量分析管13に導入できるようにした。そして、分析管の一端からガス導入系7を使い、微量の放電ガスを導入した。マイクロ波の周波数としては、導波管の寸法が小さくできる5GHz以上のものを選んだ。サイクロトロン共鳴条件で分析管13内にプラズマ11を発生するには、以下の条件によってマイクロ波周波数が決められる。

【0011】まずイオン源から電圧Vで引出されたイオンが質量分離器の磁場強度Bのもとで質量分離されるとき、質量分離されたイオンは質量分析管の中心軌道を通る。その中心軌道半径をrとすると、イオンの質量をM、電荷数をqとして、必要な磁場強度Bは次式で与えられる。

【0012】

【数1】

… (数1)

※【0014】

【数2】

… (数2)

★【0016】図1の実施例では、イオン源にマイクロ波イオン源を使い、50kVのイオン源電圧で数十mA～百mAレベルの窒素ビームを引出した。質量分離器の分析管に導入するマイクロ波周波数は10GHzとした。その電力は数kWである。この周波数で電子サイクロトロン共鳴条件を満たすように、質量分離器の中心軌道半径rと共鳴磁場強度Bを決め、質量分離器の構造設計を行ったものを使った。分析管の放電ガスにはアルゴンガスをを用いた。その結果、分析管13の中には、10のマイナス3～4乗パスカル以下の高真空のもとでアルゴンガスプラズマが発生した。プラズマの点火にあたっては、質量分離磁石の磁場強度を設計値の10%程度増減しても、ガス圧等の調整によりプラズマは同様に点火できた。点火後に設計値（中心軌道が確保されかつ電子サイクロトロン共鳴条件が満足される値）の磁場強度に戻せば、プラズマは消えずに継続して発生できた。

【0017】プラズマ点火によるイオンビーム発散作用の低減効果を調べるため、打込み室4の試料基板5の代わりにビーム電流測定器やエミッタンス測定器を設けてビーム電流やエミッタンスを測定した。

【0018】その結果、イオン源から引出されたビーム電流が20mA以下では打込み室でのイオン電流値に変化はなかったが、20mAを越える電流値ではプラズマ点火に伴い、ビーム電流値の増加が見られた。特に100mAを越える電流ではプラズマの存在により打込み室ビーム電流は著しく増え、イオン源から出たビーム電流のうち打込み室に到達したビーム電流の割合(透過率)は40%程度から70%以上に改善された。これにより、打込み室でのイオンビーム電流として100mAを越える値が容易に得られるようになった。打込み室でのビーム寸法は、電流値が低い時と同じ寸法に維持できた。図9は本発明の質量分析管のプラズマ発生の有無によるエミッタンスの変化を調べた結果である。図で横軸は打込み室で測定されたビーム電流値で、縦軸はビームの規格化エミッタンスである。イオンビームの質としては、エミッタンスの値の小さい方が良質のビームを表す。図からプラズマの存在により、ビーム電流値が増えてもエミッタンス増加が抑えられていることが分かった。なお、図9では窒素イオンを代表とした結果を示したが、酸素、水素、ボロン、リン、砒素、炭素等のイオンについても同様な結果が得られた。

【0019】次に、図3は図1の実施例における質量分離器と分析管の断面図である。質量分離器はヨーク14とコイル15で構成されている。プラズマ発生用のマイクロ波発振器8からの電波は質量分離器のマイクロ導入用の開口部9と分析管の開口部9'を通り、分析管内に導かれる。開口部9'の近くあって導波管10の途中には絶縁物のマイクロ波真空封じ窓20が設けられている。特に、ビーム6やプラズマ11に直接晒されて汚れないように、真空封じ窓20は図に示したように開口部9'よりやや引込めた位置に設けている。

【0020】図4は図3の分析管13の詳細な平面図を示した図である。分析管は90°偏向の分析管であり、中心軌道の曲率中心が図中のO'である。本発明では分析管の開口部9'の位置に特別な工夫をしている。即ち、図の斜線領域で示したように中心軌道を挟んで幅g(図3に示した磁極幅)の部分は、質量分離能を維持するために均一磁場が必要である。このため、開口部9'はこの位置をはずして設けており、開口に伴う均一磁場の乱れがビームに影響しないように工夫した。

【0021】次に、図5は本発明に基づく別の実施例の説明図である。図ではマイクロ波の導入を、質量分離器の磁極の間から行った。この時の質量分離器の詳細断面図を図6に示す。この場合、質量分離器の磁極間にある磁場の向きとマイクロ波の伝わる方向(伝播方向)とは直交する。マイクロ波の点火のしやすさからは、図1の

構成のように磁場の向きとマイクロ波伝播方向が一致する方が良い。図1に比べ、投入マイクロ波電力はやや増加したものの図5の構成でもプラズマの点火は十分行え、図9に示したような本発明の効果が得られた。

【0022】図6は本発明に基づく別の実施例の説明図である。図1の実施例では窒素原子のイオンビームについて実施したが、イオン源の動作状態を変えれば同じ引出し電圧で、窒素分子の大電流イオンビームが引出せる。窒素分子イオンビームを質量分離器で分離するには、窒素原子のイオンビームの時にくらべ、1.414倍高い磁場強度を必要とする。ここでは、マイクロ波発振器として周波数が5~30GHzの範囲のいずれかの範囲で変えられる発振器(実際にはクライストロン発振器)8'を用いた。また周波数調整器17を設けて磁場強度の変化に応じて数2にしたがってマイクロ波の周波数を変えた。図で16は質量分離器のコイル15の励磁電源であり、その出力は磁場強度に対応するので、出力制御信号の一部を周波数調整器に入れ、この信号に応じてマイクロ波周波数を変えた。この場合、イオン源の引出し電圧は50kVであり、窒素原子のイオンビームを引出した時と同じ値であるため、イオン源では簡単に窒素分子のイオンビームへの切り替えが行えた。

【0023】図8は、本発明による別の実施例の説明図である。図では、マイクロ波発振器8は固定周波数(10GHz)のものを使った。ここで、イオン種を切り替えるとき図7とは異なり、質量分離器の磁場強度は一定に保ち電子サイクロトロン共鳴条件は変えずに式1でVを変えることによって別のイオン種が質量分離されるようにした。この場合、イオン源引出し電圧が変わるためイオン源からのビーム電流が変わる問題があった。しかし、プラズマ点火によりビーム透過率が改善される効果は同様に確かめられた。

【0024】なお、本実施例では電子サイクロトロン共鳴(ECR)によるプラズマ生成にアルゴンガスを用いたが、別のガスでも良いことは本発明の本質からして明らかである。また図1から図8の実施例では、イオン注入室を用いて、半導体へのイオン注入を行った。この場合、プラズマ照射により分析管内面から不純物が叩きだされ、これが半導体基板表面に汚染物質として注入されたり付着したりすることが見られた。これを防止するため、分析管13の内面全体にシリコン板を貼り付けた。その結果、シリコン半導体注入における著しい汚染防止が図られた。半導体イオン注入への利用では実用上、本発明を用いる場合、分析管内面へのシリコン板の貼り付けが特に有効なことが分かった。一方、打込み室を加速器等に応用した場合には、質量分離器から試料までの距離が一般に長尺になるため、事実上、シリコン板の貼り付け等による汚染防止策は不要であった。

【0025】

【発明の効果】本発明によれば数十〜百mAレベルの重

7

イオンビームを扱うイオンビーム装置で、イオンビーム自身が持つ空間電荷によりビームが発散消失することが防止でき、大電流イオンビームの利用にあたり、無駄なくイオンビームをイオン打込みあるいは加速器等に供することができ、実用上の効果は著しく大である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のイオンビーム装置原理の実施例の説明図。

【図2】従来技術によるイオンビーム装置の説明図。

【図3】図1の実施例における質量分離器及び分析管部の断面図。

【図4】図3の実施例における分析管の詳細平面図。

【図5】本発明に基づく別の実施例を説明する図。

8

【図6】図5の実施例における質量分離器および分析管の断面図。

【図7】本発明に基づく別の実施例の説明図。

【図8】本発明に基づく別の実施例の説明図。

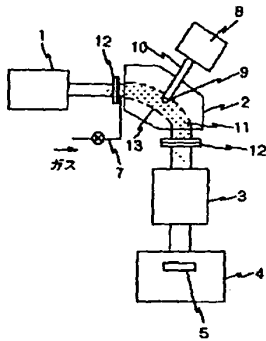
【図9】本発明の有無によるイオンビームエミッタンスのビーム電流依存性の違いを測定した結果の説明図。

【符号の説明】

1…イオン源、2…質量分離器、3…ビーム制御器、4…打込み室、5…試料基板、6…イオンビーム、7…ガス導入系、8…マイクロ波発振器、9…開口部、10…導波管、11…ECRプラズマ、12…フランジ、13…分析管。

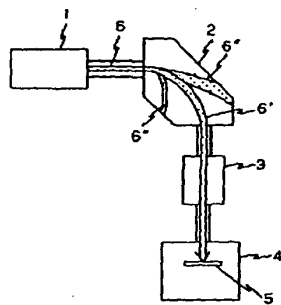
【図1】

図 1



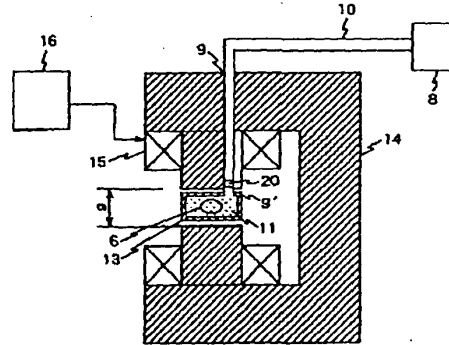
【図2】

図 2



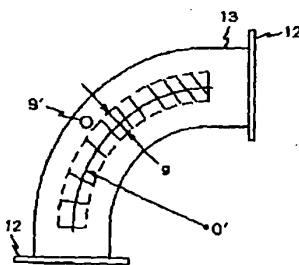
【図3】

図 3



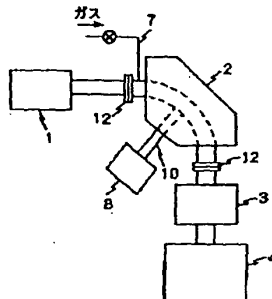
【図4】

図 4



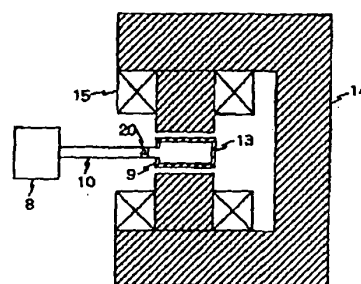
【図5】

図 5

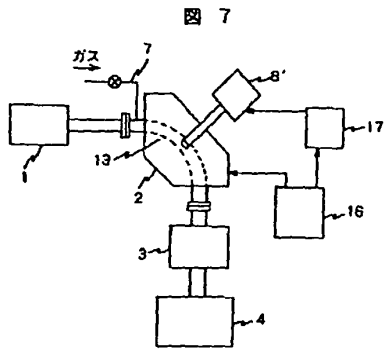


【図6】

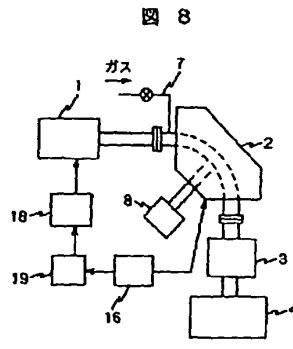
図 6



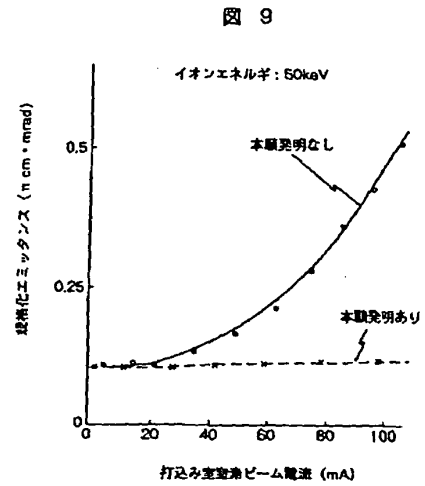
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 関 孝義

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株  
式会社日立製作所電力・電機開発本部内